

# Theoretische Grundlagen

*Zusammenfassung des physikalischen Hintergrundwissens zum  
Thema: Fußball (Schusstechniken)*

## Stoßprozesse und Impulserhaltung

Ein Stoß ist eine kurzzeitige Wechselwirkung zwischen Körpern (Stoßpartnern), bei der sich die Geschwindigkeit, der Impuls und die Energie der Stoßpartner ändern können. Bei einem Stoß gilt die Impulserhaltung, d.h. vor und nach dem Stoßprozess ist der Gesamtimpuls gleich.

Der Impuls ist das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit eines Körpers.

$$p = m \cdot v$$

Die Impulserhaltung bei einem Stoß zweier Körper lässt sich in der folgenden Formel festhalten:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

Der Index bezeichnet jeweils den Körper, die gestrichenen Größen beziehen sich auf den Zeitpunkt nach dem Stoß. Geschwindigkeit und Impuls sind vektorielle Größen, auf die Darstellung mit Pfeil wird an dieser Stelle zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet.

Stoßprozesse lassen sich in elastische und unelastische Stöße einteilen.

### Elastischer Stoß

Bei einem elastischen Stoß gilt neben der Impulserhaltung auch die Erhaltung der kinetischen Energie. Zwei identische Kugeln, die mit gleicher Geschwindigkeit ( $v_1, v_2$ ) zentral aufeinandertreffen, bewegen sich nach dem Stoß mit entgegengesetzten, betragsmäßig gleichen Geschwindigkeiten ( $v'_1, v'_2$ ) (Abb. 1).

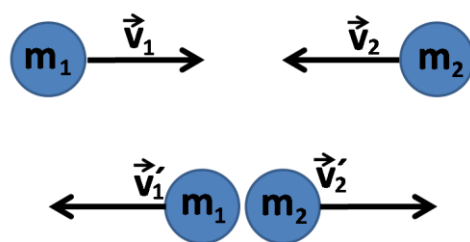


Abb. 1: Elastischer Stoß zweier Kugeln

### Unelastischer Stoß

Für einen unelastischen Stoß gilt nur die Impulserhaltung, ein Teil der kinetischen Energie wird beim Stoßprozess in Wärme umgewandelt oder wird zur Verformung des Körpers benötigt. Die Geschwindigkeit der Stoßpartner verringert sich nach dem Stoß (vgl. Abb. 2).

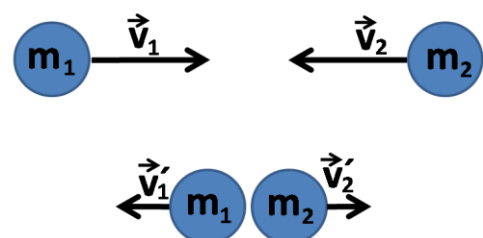


Abb. 2: Unelastischer Stoß zweier Kugeln

Die Stoßpartner können auch vollständig zum Ruhen kommen. Die Impulserhaltung ist dann nicht verletzt! Der Impuls ist eine vektorielle Größe, aufgrund der entgegengesetzten Geschwindigkeiten der Kugeln ist der Gesamtimpuls gleich null.

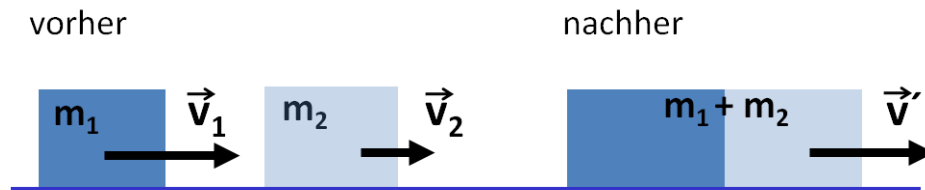


Abb. 3: unelastischer Stoß zweier Massen

Ein weiteres Beispiel kann durch zwei PKW dargestellt werden: Ein Auto fährt in ein langsamer fahrendes Fahrzeug hinein. Beide verkeilen sich und bewegen sich mit der gleichen Geschwindigkeit weiter (Abb. 3).

Ein Schuss mit dem Fußball kann als Stoßprozess zwischen Bein (Index 1) und Ball (Index 2) beschrieben werden. Betrachtet man einen Schuss genau, so zeigt sich, dass sich der Ball während des Fußkontaktes verformt. In dem sehr kurzen Zeitabschnitt, indem sich Fuß und Ball berühren, bewegen sich beide gemeinsam in eine Richtung (vgl. Bsp. PKW).

Es handelt sich (sehr vereinfacht) um einen unelastischen Stoß. Ruht der Ball zu Beginn ( $v_2 = 0$ ), so reduziert sich die Formel der Impulserhaltung wie folgt:

$$m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

Die Geschwindigkeit des Balls  $v'_2$  berechnet sich durch Umformung der obigen Gleichung:

$$m_1(v_1 - v'_1) = m_2 \cdot v'_2$$

$$v'_2 = \frac{m_1}{m_2}(v_1 - v'_1)$$

$v'_2$  ist im Falle gleich großer Massen  $m_1$  und  $m_2$  gleich der Geschwindigkeitsänderung des Beins. In diesem Fall ist jedoch die Masse des Beins viel größer als die des Balls. Dadurch wird der Quotient  $\frac{m_1}{m_2}$  sehr groß. Dies erklärt, warum die Geschwindigkeit des Balles nach dem Stoß deutlich größer als die Beingschwindigkeit ist.

Ein realer Stoß zwischen zwei Massen stellt immer eine Mischform aus elastischem und unelastischem Stoß dar.

## Koordination von Teilimpulsen

Einen maximal starken Schuss erreicht man, indem man nicht nur den Impuls des Beines, sondern den des gesamten Körpers nutzt. Durch eine zeitliche Koordination der Einzelimpulse (in der zeitlichen Abfolge) von Oberkörper, Hüfte und Bein wird der Impuls optimal übertragen. Beim Hüftdrehstoß wird durch eine zeitversetzte Verzögerung einzelner

Körpersegmente eine maximale Endgeschwindigkeit des Beins erreicht. Eine höhere Endgeschwindigkeit des Beins wird auch dadurch erreicht, dass sich der gesamte Körper bereits mit einer Geschwindigkeit in Schussrichtung bewegt. Mit Anlauf schießt man deshalb härter als aus dem Stand.

## Zentrischer und exzentrischer Stoß

Bei einem Stoß kann man zudem zwischen einem zentrischen und einem exzentrischen Stoß unterscheiden.

Ein zentrischer Kraftstoß liegt vor, wenn die Wirkungslinie der Kraft während des Stoßes durch den Schwerpunkt des Körpers geht. In diesem Fall bewirkt die Kraft eine translatorische Bewegung des Körpers.

Geht die Wirkungslinie der Kraft während des Stoßes nicht durch den Körperschwerpunkt, so erwirkt sie eine Rotation und eine Translation des Körpers. In diesem Fall spricht man von einem exzentrischen Kraftstoß (vgl. Abb.4).

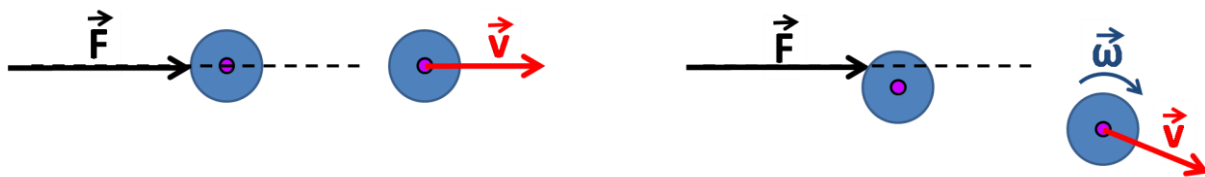


Abb. 4: Zentrischer und exzentrischer Stoß am Beispiel einer Kugel

## Reflexion und harter Schuss

Fällt ein Ball senkrecht auf den Boden oder gegen eine Wand (vgl. Abb. 4), so übt dieser eine Kraft auf die Kontaktfläche aus. Von der Kontaktfläche erfährt der Ball eine betragsmäßig gleich große Kraft in entgegengesetzter Richtung (actio = reactio), die den Ball nach oben beschleunigt. Der Ball hat nach dem Aufprall, sofern man Reibung vernachlässigt, dieselbe Geschwindigkeit wie vor dem Aufprall.

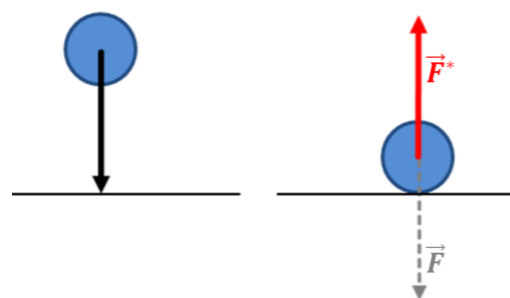


Abb. 5: Senkrechte Reflexion an einer Wand

Die Reflexion des Balles am Boden oder an einer Wand kann mit einem Stoßprozess verglichen werden, bei dem der Stoßpartner eine sehr große Masse besitzt.

Fällt ein Ball unter dem Winkel  $\alpha$  auf den Boden oder gegen eine Wand, so springt dieser nach dem Reflexionsgesetz (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) wieder im Winkel  $\alpha$  vom Boden ab. Die Kraft  $\vec{F}^*$  ist betragsmäßig gleich groß wie  $\vec{F}$ .

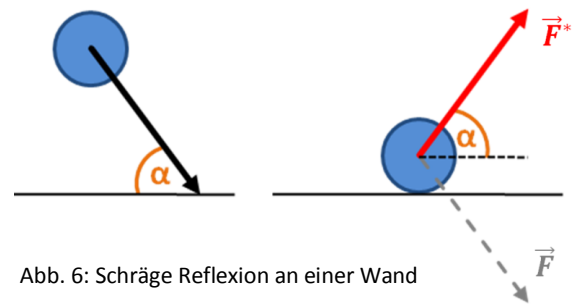


Abb. 6: Schräge Reflexion an einer Wand

Das Abprallen eines Balles erklärt, warum ein entgegenkommender Ball stärker geschossen werden kann als ein ruhender. Wenn der Ball nur am ruhenden Fuß abprallt, fliegt er - setzt man einen elastischen Stoß voraus - bereits mit gleicher Geschwindigkeit in Schussrichtung. Umso schneller wird der Ball, wenn das Bein zusätzlich in Schussrichtung bewegt wird.

## Luftwiderstand

Die Wurfparabel beschreibt die theoretische Flugbahn, die ohne Reibungskräfte zustande kommt. In der Realität erfährt der Wurfgegenstand eine Widerstandskraft – den Luftwiderstand. Für die quantitative Beschreibung des Luftwiderstandes gilt die Formel:

$$F_{LW} = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

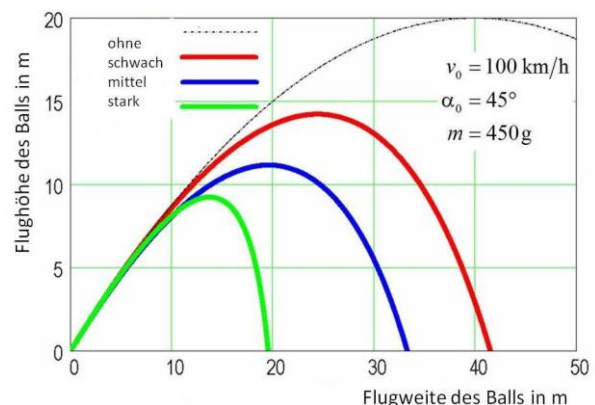


Abb. 7: ballistische Kurve eines Fußballs bei starker, mittlerer, schwacher und ohne Dämpfung

Der Luftwiderstand hängt von der Widerstandsfläche  $A$  des Gegenstandes (schädliche Fläche), der Dichte der Luft  $\rho$ , dem Luftwiderstandsbeiwert  $c_w$  und der Geschwindigkeit  $v$  ab. Die Flugbahn ist dann keine Parabel mehr, sondern eine ballistische Kurve.

## Weitere Inhalte

### Magnuseffekt

Ein geschossener Ball, der rotiert (sich um die eigene Achse dreht), erzeugt in der ihn umgebenden Luft Druckunterschiede, die seine Flugbahn beeinflussen. Dieses Phänomen wird als Magnuseffekt bezeichnet (Abb. 8).

Die Ursache dieses Phänomens kann mit den unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten der Luftteilchen an den Seiten des Balles erklärt werden. Auf einer Seite werden die Luftteilchen aufgrund der Eigenrotation abgebremst, auf der anderen beschleunigt. Diesen Effekt macht man sich z.B. beim Flugzeug zunutze: An der Oberseite der Tragflächen strömt die Luft aufgrund der Bogenform schneller vorbei als auf der Unterseite. Dadurch entsteht an der Unterseite ein Überdruck, an der Oberseite ein Unterdruck: Das Flugzeug fliegt nach oben.

Veranschaulichen lässt sich dies auch mit einem Papierstreifen: Hält man ihn an einer Seite fest und bläst kräftig über die Oberseite, so wird er nach oben gesaugt und flattert waagrecht in der Luft.

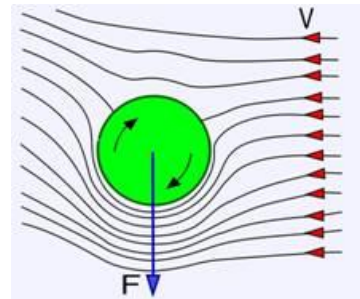


Abb. 8: Luftströmung um einen rotierenden Ball (Magnuseffekt)

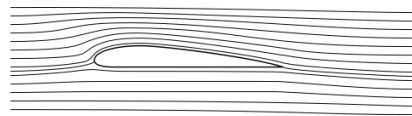


Abb. 9: Luftströmung um einen Flügel

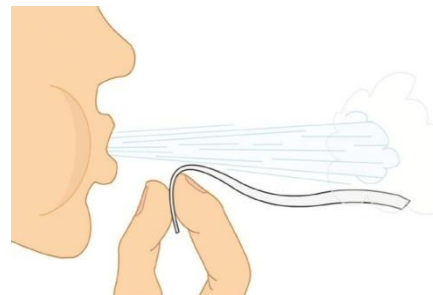


Abb. 10: Kraftwirkung aufgrund verschiedener Strömungsgeschwindigkeiten